



**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

TÍTULO DEL TFC: Implementación de sistema de mando del simulador CESSNA

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Aeronáutica Especialidad Aeronavegación

AUTOR: Sergio Ros Salvador

DIRECTOR: Joshua Martínez Tristanco

CO-DIRECTOR: Oscar Casas Piedrafita

FECHA: 8 de junio de 2009

TÍTULO: Implementación de sistema de mando del simulador CESSNA

Autor: Sergio Ros Salvador

Director: Joshua Martínez Tristancho

Co-Director: Oscar Casas Piedrafita

Fecha: 8 de junio 2009

Resumen

La idea de este trabajo final de carrera es la de trabajar en el simulador de vuelo de la Escola Politècnica Superior de Castelldefels, iniciando pequeños nuevos proyectos del simulador así como complementar algunos ya comenzados.

En primer lugar, se hará una breve introducción a la aeronave utilizada como simulador y sus características, y también la obtención de unas pequeñas referencias de lo trabajado anteriormente con este simulador por parte de otros proyectistas o profesores.

Se estudiará qué Joystick nos puede servir, para de él poder utilizar tanto la placa principal como los potenciómetros. Una vez seleccionado, se extraerán los potenciómetros para aplicarlos a los mandos del simulador, para esto se buscarán los puntos en los cuales se podrá aprovechar la parte mecánica de la clásica aeronave y poder obtener los movimientos de Alabeo, Cabeceo, Guiñada y también el sistema de control y potencia.

En el trabajo se analizan los controles que un avión debe tener para su buen funcionamiento y la manera de implementarlos en un simulador, para asemejarse lo máximo posible a la realidad de vuelo, que, al fin y al cabo, es lo que un simulador quiere conseguir.

Se realizarán otros trabajos en el simulador, como son los de proporcionar la posibilidad de trabajar con el techo de la Cessna o sin él, la construcción de una estructura de pantallas laterales ya diseñadas en un anterior proyecto, la implantación del audio en el simulador y también la posibilidad de tener un segundo mando de control, en este caso un Joystick fijado a la Cessna.

Finalmente, comentar unas pequeñas valoraciones de todos los objetivos que planteamos al principio del proyecto y analizar hasta qué punto se han podido conseguir, así como a qué conclusiones se ha llegado después de este trabajo.

Title: CESSNA'S simulator control system installation

Author: Sergio Ros Salvador

Director: Joshua Martínez Tristancho

Co-Director: Oscar Casas Piedrafita

Date: June, 8th 2009

Overview

The main purpose of this final project is to work in The Technical School of Castelldefels flight simulator, starting small new projects as well as setting off the ones which have been initiated before for the simulator.

The first part of the process is to give a small introduction to the craft used as a simulator and its characteristics, and to obtain the simulator's small references from the previous works made by other students and teachers.

In this work I will analyze the controls that a plane must have to keep the equipment in good working order, and the way they can be installed in a simulator in order to have a feeling close to the one you could sense in a real flight, which is, at the end, a simulator's main purpose.

It will be studied which Joystick can be used in order to use its circuit board as well as the potentiometers. Once it's chosen, the potentiometers will be extracted in order to be applied to the CESSNA's simulator controls that we have in the University. To reach this goal it's necessary to search for the part on which the mechanical part of the classic craft can be fully used, so that we can obtain the Yaw, Pitch and Roll's movements, as well as control and power system.

Other jobs will be done in the simulator, such as: to provide the option of working with the Cessna's roof or without it; the construction of a lateral screen's structure which was designed in a previous project; the installation of the audio in the simulator and also the option of having a second control, in this case, a Joystick fixed to the Cessna.

In conclusion, I will provide a small assessment of every goal we made at the very beginning of this project and analyze if they have been achieved as well as the main conclusions I have reached at the end of this work.

A todos los que han estado muy cerca de mí durante estos años, me han apoyado siempre para llegar a completar este sueño, y que espero que sigamos alcanzando sueños juntos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
1.1 Objetivos iniciales.....	3
CAPÍTULO 2. SIMULADOR DE VUELO EPSC	5
2.1 Simuladores de vuelo	5
2.2 Aeronave utilizada en nuestro simulador	5
2.2.1 Características Cessna 150.....	6
2.3 Previa del Simulador EPSC	7
CAPÍTULO 3. MANDOS DE CONTROL.....	9
3.1 Principios básicos.....	9
3.1.1 Ejes del avión	10
3.1.1.1 El Eje Transversal o Lateral.....	10
3.1.1.2 El Eje Longitudinal	11
3.1.1.3 El Eje Vertical.....	11
3.2 Inicio de los mandos de control.....	13
CAPÍTULO 4. ESTUDIO DEL JOYSTICK UTILIZADO	15
CAPÍTULO 5. ALABEO Y CABECEO.....	19
5.1 Alabeo	19
5.2 Cabeceo	22
CAPÍTULO 6. GUIÑADA	25
CAPÍTULO 7. CONTROL	29
7.1 Potencia	29
7.2 Otras funciones	30
CAPÍTULO 8. APERTURA TECHO SIMULADOR	31
CAPÍTULO 9. ESTRUCTURA PANTALLAS.....	33
CAPÍTULO 10. AUDIO SIMULADOR	35

CAPÍTULO 11. SOPORTE JOYSTICK.....	37
CAPÍTULO 12. RESULTADOS	39
CAPÍTULO 13. CONCLUSIONES	41
13.1 Objetivos Alcanzados	41
13.2 Conclusiones generales	42
13.3 Posibles ampliaciones futuras.....	42
CAPÍTULO 14. BIBLIOGRAFÍA	45
CAPÍTULO 15. ANEXOS	48
Anexo 1	48
Anexo 2	54
Anexo 3	55
Anexo 4	58
Anexo 5	62
Anexo 6	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0.1: Simulador hecho con un barril.....	1
Figura 2.1: Vista Frontal Cessna.....	6
Figura 2.2: Vista lateral Cessna	6
Figura 2.3: Vista planta Cessna	7
Figura 3.1: Ejes y movimientos de la aeronave	9
Figura 3.2: Movimiento cabeceo aeronave	10
Figura 3.3: Movimiento alabeo aeronave	11
Figura 3.4: Movimiento guiñada de la aeronave.....	12
Figura 3.5: Deperdussin 1909.....	13
Figura 3.6: Vicker Vimy 1919.....	13
Figura 3.7: Havilland Tiger Moth	14
Figura 4.1: Joystick Force 3D Pro.....	15
Figura 4.2: Potenciómetros alabeo y cabeceo.....	16
Figura 4.3: Potenciómetro Guiñada y Potencia	16
Figura 5.1: Potenciómetro montado en el eje	19
Figura 5.2: Pieza del eje y potenciómetro	20
Figura 5.3: Placa aluminio sujeción potenciómetro.....	21
Figura 5.4: Montaje final sistema alabeo.....	21
Figura 5.5: Ubicación del potenciómetro en el mástil.....	22
Figura 5.6: Vista frontal y lateral del potenciómetro	23
Figura 6.1. Pedales.....	25
Figura 6.2. Poleas para guiñada.....	26
Figura 6.3. Muelles para pedales	26
Figura 6.4. Pedales instalados	27
Figura 7.1: Sistema Potencia.....	29
Figura 7.2: Sistema Potencia instalado.....	30
Figura 7.3. Botonera en cuernos.....	30
Figura 8.1: Vista de la Cessna con y sin techo.....	31
Figura 8.2: Techo de la Cessna desmontado.....	32
Figura 9.1: Estructura pantallas.....	33
Figura 9.2: Pantallas del simulador	34
Figura 10.1: <i>Subwoofer</i> en simulador	35
Figura 11.1: Soporte Joystick	37
Figura A1: Placa principal Joystick	48
Figura A2: Conector 1	49
Figura A3: Conector 2.....	49
Figura A4: Conector 3.....	50

Figura A5: Conector 4.....	50
Figura A6: Potenciómetro nº1, Guiñada.....	51
Figura A7: Potenciómetro nº2, Potencia	51
Figura A8: Potenciómetro nº 3, Cabeceo	52
Figura A9: Potenciómetro nº 4, Alabeo	52
Figura A10: Botonera Gatillo.....	53
Figura A11: Calibración Joystick.....	54
Figura A12: Calibración Joystick.....	54
Figura A13. Esquema global de conexiones.....	58
Figura A14. Conexión audio	59
Figura A15. Conexión luz interior	59
Figura A16. Conexión mando proyectores	60
Figura A17. Placa botones Joystick	61
Figura A18: Funciones mando a distancia.....	63
Figura A19: Pantalla <i>FlightGear</i>	64
Figura A20: Movimiento alabeo	64
Figura A21: Movimiento cabeceo	64
Figura A22: Botonera gatillo en cuernos	65
Figura A23: Uso del sistema de potencia.....	65
Figura A24: Uso de los pedales	65
Figura A25: Encendido del <i>Subwoofer</i>	66
Figura A26: Luz para el teclado del simulador	66

INTRODUCCIÓN

Desde que se construyeron los primeros simuladores, usando un simple barril, han pasado ya muchos años, pero siempre han tenido su papel importante dentro del mundo de la aviación, pues es un poco complicado que pilotos sin experiencia ninguna, la primera vez que piloten un avión sea ya, en pleno aire.

A principios de 1900, comenzaron a usar esta técnica, incentivada por el primer gran conflicto bélico mundial.



Figura 0.1: Simulador hecho con un barril

En primeros momentos siempre es recomendable aprender y familiarizarte con un tipo de avión de tamaño más reducido y de menor complejidad, que un avión de pasajeros o de carga, ya que su funcionamiento es bastante más complejo. Por todo esto, puede ser de gran utilidad que en nuestra universidad, la Escola Politècnica Superior de Castelldefels, contemos con la cabina de una Cessna 150 L.

La idea de este proyecto, es proseguir con tareas ya realizadas a este simulador de la universidad. En este trabajo ampliaremos partes ya iniciadas así como otras que hay que empezar para poder ir consiguiendo un simulador cada vez más completo y adecuado a nuestras necesidades.

Se le dará un papel protagonista a hacer funcionar los mandos habituales de una Cessna, "cuernos" y pedales, y así poder conseguir un sistema más realístico que, al fin y al cabo, es lo que siempre se pretende con un simulador, sea cual sea su función principal, acercarnos lo máximo posible a la realidad de vuelo.

CAPÍTULO 1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 Objetivos iniciales

1. Recoger toda la información posible de los anteriores trabajos realizados en el simulador, ya fuera por proyectistas o colaboradores.
2. Documentar todo el trabajo realizado sobre el proyecto.
3. Estudio de un Joystick adquirido, para el uso de sus potenciómetros e integración en los mandos de vuelo del simulador
4. Diseño y construcción de un sistema para el control de actitud. Alabeo y cabeceo.
5. Diseño y construcción de un sistema para el control de dirección. Guiñada y frenos.
6. Diseño y construcción del sistema para el control de potencia.
7. Apertura de techo de la cabina del simulador.
8. Elaboración pantallas y su estructura, para la proyección de imágenes.
9. Instalación del sistema de Audio del simulador.

CAPÍTULO 2. SIMULADOR DE VUELO EPSC

2.1 Simuladores de vuelo

Un simulador de vuelo es un dispositivo que intenta reproducir o emular la experiencia, de la forma más fidedigna posible de volar una aeronave. El sistema puede ser tanto a partir de un software en forma de videojuego, o algo más complejo donde intervendrían tanto hardware como software, donde se usaría alguna cabina, o réplica para añadir el máximo realismo posible al simulador, el sistema puede también estar accionado con sistemas hidráulicos para permitir movimiento del simulador.

Los simuladores de vuelo tienen diferentes usos y utilidades, desde para ver cómo reaccionan las aeronaves a algunas situaciones, a la simulación de desastres para averiguar causas, entrenamiento de pilotos militares, pilotos de la industria aeronáutica o para permitir a aquellos aficionados a la aviación familiarizarse, aprender y divertirse con el vuelo de un avión.

2.2 Aeronave utilizada en nuestro simulador

La aeronave utilizada para nuestro simulador, es una Cessna conseguida por la EPSC.

Cessna es un constructor de aviones de 4 pasajeros hasta algunos pequeños reactores de negocios. Se trata de una compañía histórica en el mundo de la aviación que nació en 1922, cuando un Granjero de Kansas, Clyde Cessna, construyó su primer avión, un monoplano.

El modelo de aeronave es el 150 L, un avión de tren de aterrizaje fijo, ala alta y diseñado para labores de entrenamiento, turismo y uso personal, una aeronave biplaza.

La Cessna 150 estuvo diseñada para suceder a grandes modelos como Cessna 120 y 140, que habían dejado de construirse en 1951. El primer prototipo de 150 voló por primera vez en 1957 y a finales de 1977 fue sustituido por el nuevo modelo de Cessna el 152.

2.2.1 Características Cessna 150

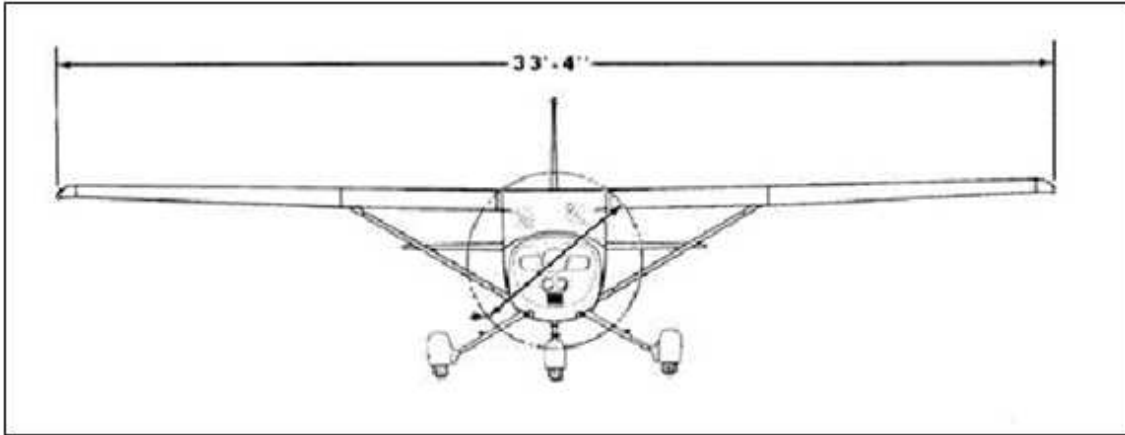


Figura 2.1: Vista Frontal Cessna

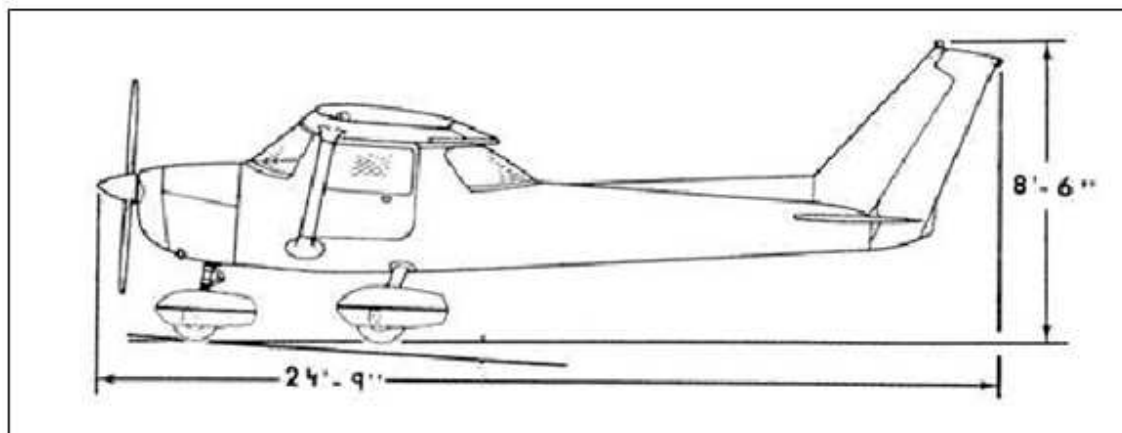


Figura 2.2: Vista lateral Cessna

Envergadura: 10.2 metros (33' 4" ft)
Altura : 2.6 metros (8' 6" ft)
Longitud: 7.3 metros (24' 9" ft)
Superficie alar: 15 m² (160 ft²)
Diámetro Hélice: 1.8 metros (5' 9" ft)
Peso en vacío: 504 Kg (1,111 lb)
Máximo peso de despegue: 730Kg (1,600 lb)

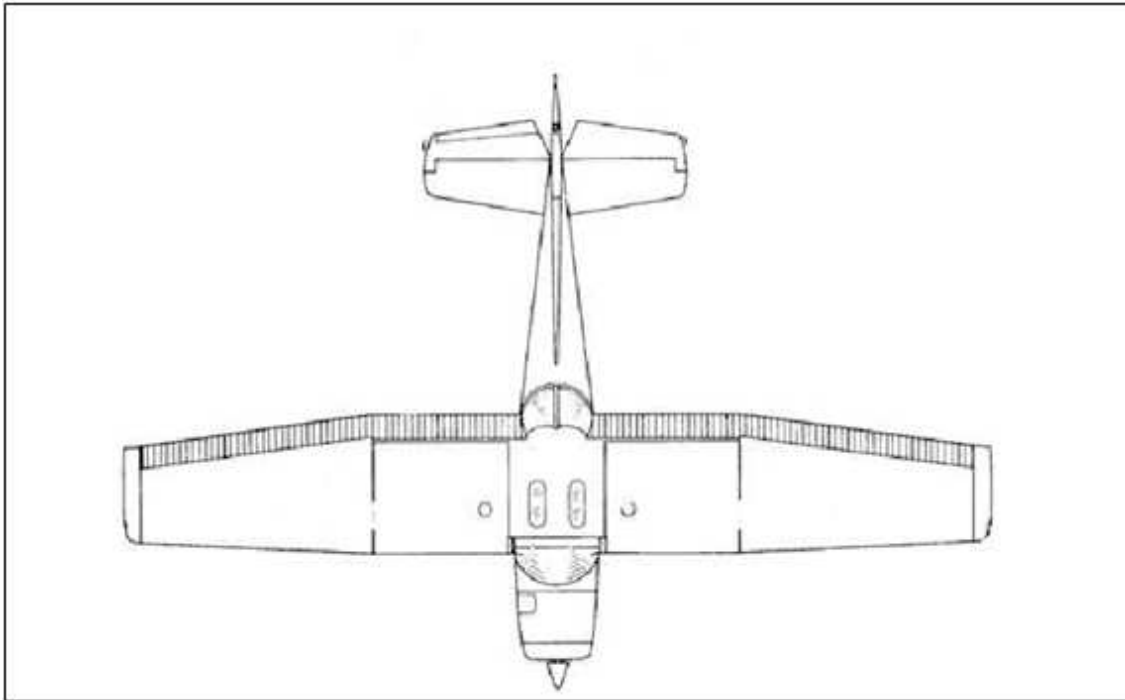


Figura 2.3: Vista planta Cessna

2.3 Previa del Simulador EPSC

En el simulador de la EPSC, profesorado y proyectistas habían trabajado anteriormente. Por ejemplo, el proyecto de Osvaldo Betancourt, se realizó el trabajo correspondiente a diseñar y construir el panel de instrumentos del simulador, pasando desde su diseño, a su preparación en metacrilato, y posteriormente a su instalación en la cabina de la propia Cessna.

Se seleccionaron diferentes instrumentos **SimKits** que funcionan a través de sistemas electrónicos que mueven pequeñas piezas mecánicas, desde Giróscopos, elementos de Radionavegación, Barométricos, instrumentos de la plataforma propulsora e instrumentos de sistemas. Todos estos sistemas fueron calibrados e instalados.

Además, se instaló la placa a la cual están conectados todos estos sistemas anteriormente mencionados, para que a través del puerto USB y mediante el Software en este caso *Microsoft Flight Simulator*, simularan los efectos de vuelo.

Se hizo todo el estudio gráfico así como su instalación, la compra y montaje de dos tarjetas gráficas y los 3 proyectores para crear el mejor resultado posible. También se incluyó una pantalla TFT en el mismo panel de instrumentos, y se hizo el estudio de las pantallas donde se proyectarían las imágenes.

CAPÍTULO 3. MANDOS DE CONTROL

3.1 Principios básicos

En los primeros años de la aviación, el mundo estaba obnubilado con que un aparato tan pesado, como pudo ser cualquier intento de avión de aquella época, pudiera volar. Además de control del mismo no era algo a lo que se le prestara gran atención, y aunque es cierto que en esa época nunca se llegaban a alcanzar grandes alturas como para sufrir grandes accidentes, rápidamente se darían cuenta de lo importante que es que el avión pueda responder adecuadamente a las órdenes del piloto.

Pero ya, los hermanos Wright un mito en el mundo de la aviación, integraron en su avión 3 ejes. Los mandos de vuelo en un avión son la parte indispensable para poder manejar el mismo, estos controlan las superficies de control que todo avión debe tener. Las superficies de control son en realidad aquellas partes aerodinámicas del avión a partir de las cuales podremos mover el avión en los 3 ejes:

- Eje Transversal
- Eje Longitudinal
- Eje Vertical

Los aviones se guían por estos tres ejes perpendiculares entre sí y que tienen su punto de unión en el centro de gravedad de la aeronave, con lo que manejarlos nos dará el control del avión.

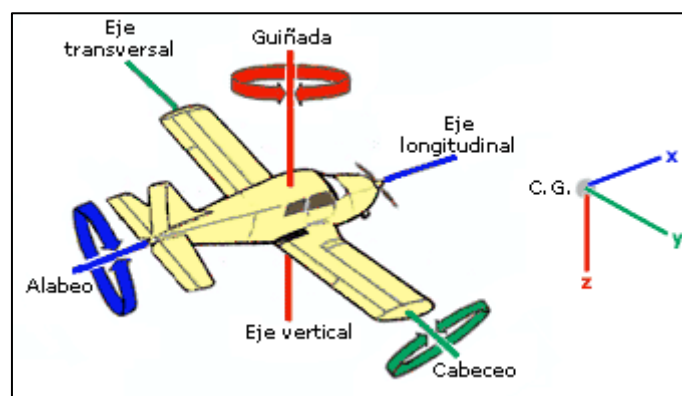


Figura 3.1: Ejes y movimientos de la aeronave

3.1.1 Ejes del avión

3.1.1.1 El Eje Transversal o Lateral

Es el eje imaginario que va de punta a punta de las alas, a lo largo de la envergadura de las alas, el origen está en el centro de gravedad como el de todos los ejes y es perpendicular al plano de simetría del avión, su sentido positivo sería hacia la ala derecha, el movimiento transmitido al avión alrededor de este eje es el de cabeceo, esto sería básicamente el de subir y bajar el morro del avión.

La superficie de control primaria que controla este movimiento, sería el timón de profundidad, éste está situado al final o borde de salida del estabilizador horizontal, este timón se controla mediante tirando y empujando del mando de control.

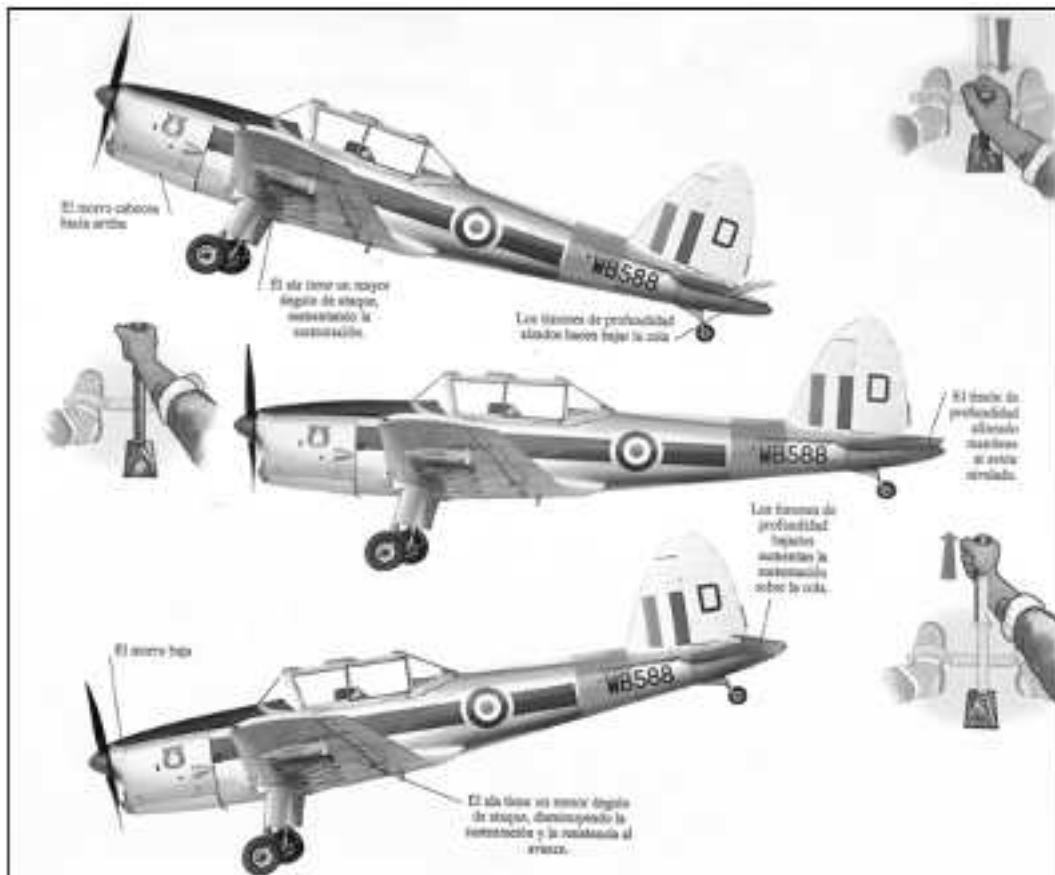


Figura 3.2: Movimiento cabeceo aeronave

3.1.1.2 El Eje Longitudinal

Es el eje imaginario que va de la cola del avión al morro del mismo, situado en el eje de simetría del avión, el sentido positivo es desde el centro de gravedad hacia el morro, el movimiento transmitido al avión mediante este eje es el de alabeo, lo que será el del balanceo del avión.

La superficie de control primaria que controla este movimiento, son los alerones (que procede del latín y significa ala pequeña), situados en el borde de salidas de las alas, los que se controlan girando a derecha e izquierda el mando de control.

Cuando giramos el mando se produce la deflexión diferencial de los alerones, así que cuando uno de los alerones de una ala sube, el alerón de la otra ala baja, siendo el ángulo entre estos dos movimientos proporcional al grado que hayamos girado el mando de control.

Cuando un alerón es flexionado hacia abajo, la sustentación de esa ala aumenta, y lo contrario en la otra ala.

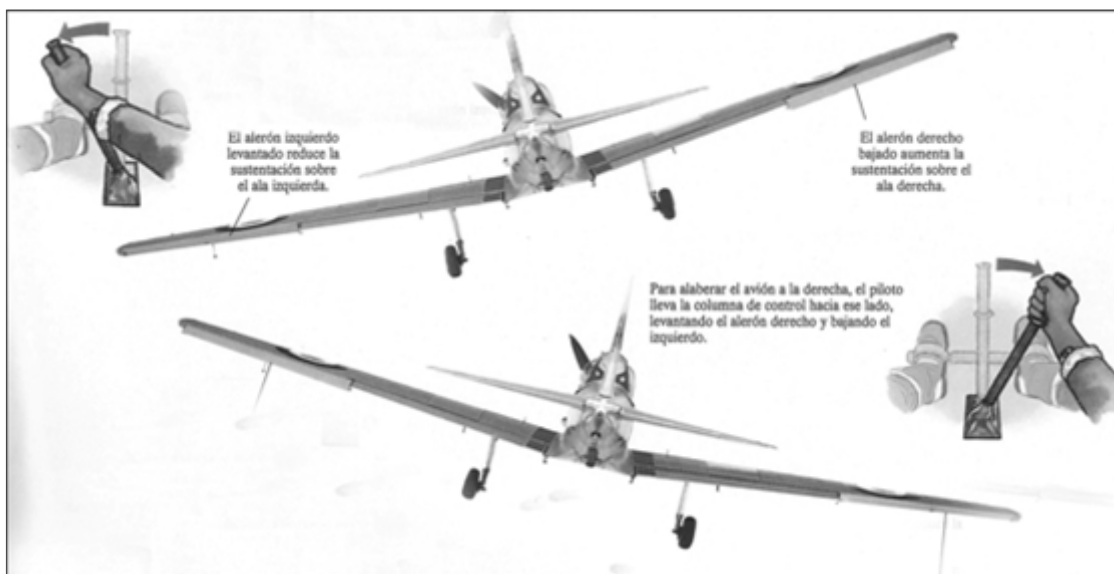


Figura 3.3: Movimiento alabeo aeronave

3.1.1.3 El Eje Vertical

Sería el eje imaginario que atravesando por el centro de gravedad es perpendicular al eje longitudinal y transversal, su sentido positivo es hacia abajo, y el movimiento transmitido al avión mediante este eje sería el de guiñada del avión.

La superficie de control primaria que controla este movimiento, es el timón de dirección o de cola, y que está situado en el estabilizador vertical cerca de

salida de la sección de cola. La manera de controlar esta superficie es diferente a las dos anteriormente mencionadas, ya que se controla mediante unos pedales.

Cuando el piloto presiona el pedal derecho, esto genera una deflexión del timón de dirección a la derecha, y lo contrario cuando presiona el pedal izquierdo.

Estas tres serían las superficies primarias, pero es importante hacer una pequeña mención a las superficies de control secundario, útiles para rebajar las velocidades mínimas de sustentación del avión de gran importancia en las fases iniciales y finales del vuelo así como otras maniobras.

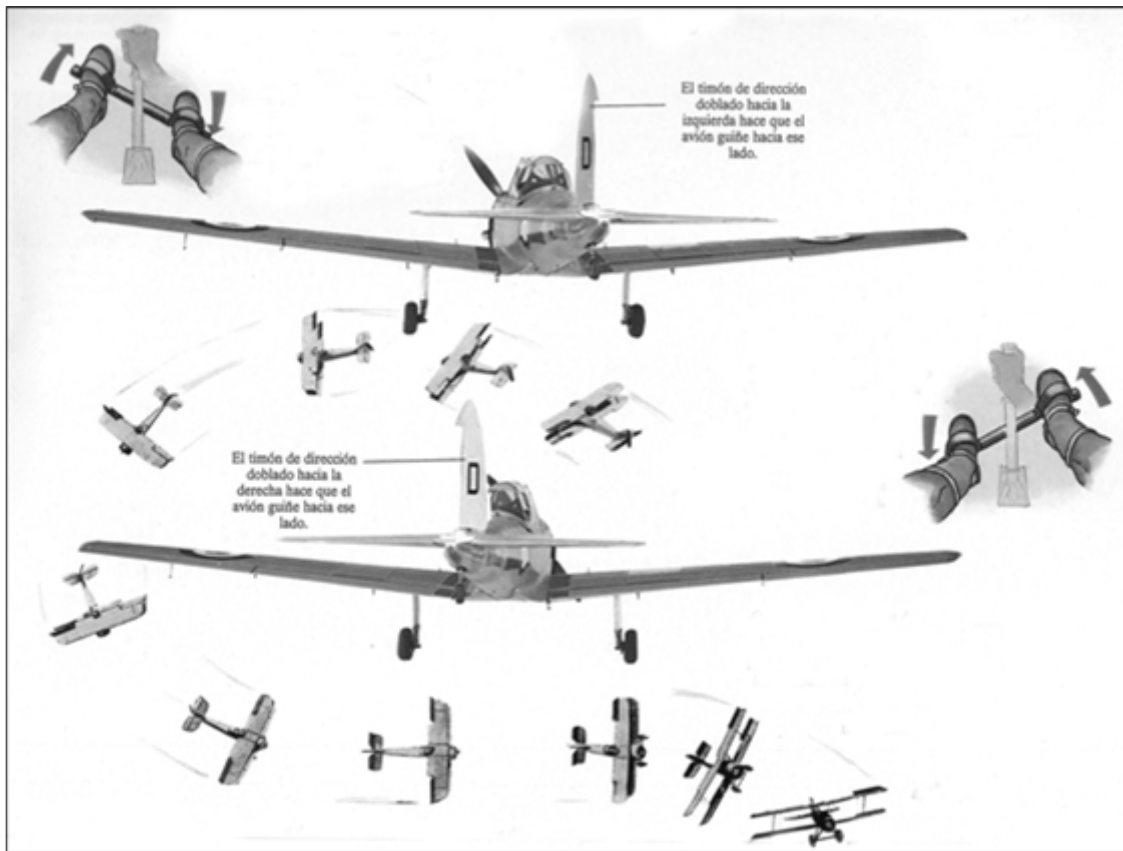


Figura 3.4: Movimiento guiñada de la aeronave

3.2 Inicio de los mandos de control

En este apartado se quiere mostrar una pequeña reseña a la evolución que han tenido los mandos de control en la historia de la aviación.

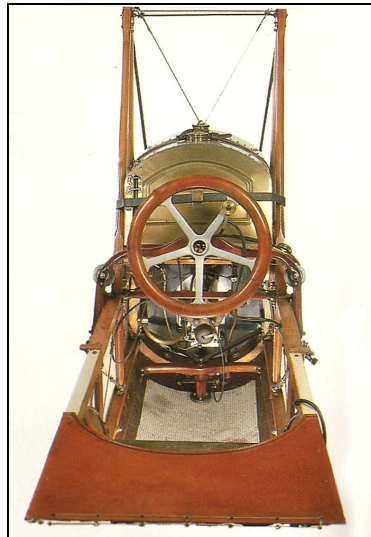


Figura 3.5: Deperdussin 1909

Deperdussin 1909, un volante era de lo que constaba esta cabina, sin ni siquiera instrumentos.

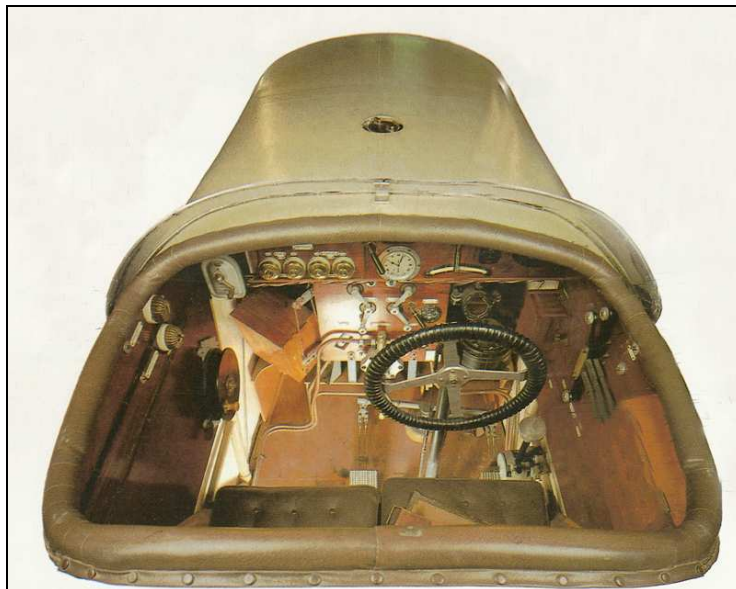


Figura 3.6: Vicker Vimy 1919

Vickers Vimy, 1919, diseñado a finales de la primera guerra mundial, era usado para bombardeos sobre Alemania, pocos instrumentos, y con el volante para controlar el avión



Figura 3.7: Havilland Tiger Moth

De Havilland Tiger Moth, biplano de los años 30, ya constaba de más instrumentos que luego se usaran en todos los aviones, aunque aun no había aparecido el horizonte artificial, y como se puede apreciar ya se comenzaba a usar la palanca de mando como forma estándar.

CAPÍTULO 4. ESTUDIO DEL JOYSTICK UTILIZADO

En este trabajo uno de los grandes objetivos es conseguir que mediante los controles normales de los aviones, es decir los pedales y los cuernos de control, podamos manejar nuestro simulador como si fuera un Joystick típico de ordenador.

Para esto lo primero que se tiene que hacer es seleccionar un Joystick acorde a nuestras necesidades, ya que de él utilizamos la placa del mismo y sus elementos, especialmente los potenciómetros, para poder trasladar el movimiento de los mandos de control de una forma mecánica a la placa principal, de manera electrónica.

El Joystick elegido es el **Logitech Force 3D Pro**, sus características principales son las de contar con.

- **Tecnología Force Feedback:** Respuesta genuina en tiempo real.
- **12 botones programables:** Para personalizar la configuración de cada juego o vehículo del modo más adecuado.
- **Control de aceleración de alta precisión:** Para competir con ventaja sobre otros dispositivos.
- **Disparador de acción rápida:** Para una acción superintensa.
- **Selector de vista de ocho direcciones:** Muévase sin mover la mano.



Figura 4.1: Joystick Force 3D Pro

Aunque en nuestro trabajo lo que importa es poder reutilizar los potenciómetros y la placa principal del Joystick. Poder usar los movimientos de Alabeo, Cabeceo, Guiñada y Potencia.

En este caso se tuvo que desmontar el Joystick por completo para poder acceder a los potenciómetros,



Figura 4.2: Potenciómetros alabeo y cabeceo



Figura 4.3: Potenciómetro Guiñada y Potencia

Los dos primeros (azul y negro) están unidos a la principal del mango del Joystick para aprovechar los movimientos adelante, atrás y derecha izquierda, que serían cabeceo y alabeo.

El tercero (negro), está situado en el propio centro del mango, para poder rotar el Joystick y hacer los movimientos de guiñada.

Por último, el rojo estaría situado en la palanca de potencia.

Los cables de los potenciómetros estaban adecuados para las medidas interiores del Joystick, en nuestro caso habrá que alargar todos los cables, porque en algunos casos el potenciómetro se localizará a distancias de hasta 90 cm de la placa principal del Joystick.

Tabla 4.1: Medidas cables

Potenciómetro	Medida inicial	Medida requerida
Cabeceo	18 cm	50 cm
Alabeo	18 cm	70 cm
Guiñada	32 cm	90 cm
Potencia	14 cm	70 cm

CAPÍTULO 5. ALABEO Y CABECEO

5.1 Alabeo

En el alabeo se tiene que trasladar el movimiento del mando de la Cessna, izquierda y derecha, al potenciómetro correspondiente, se debe estudiar los movimientos del sistema de cadenas y poleas de la Cessna para encontrar donde es el mejor lugar para colocar el sistema. En un primer momento se pensó que se podría usar una de las varillas rotatorias que en una aeronave común sería la usada por el volante del copiloto, que en caso del simulador sólo usamos la varilla del volante del piloto, pero se observó que el movimiento de esta varilla era algo irregular con lo que el potenciómetro podría sufrir al ser un elemento tan delicado, finalmente se decidió que en el centro del mástil, aprovechando la rotación del eje, donde se ubica otro de los engranajes, era la ubicación correcta.



Figura 5.1: Potenciómetro montado en el eje

En la imagen, se puede ver la ubicación final del potenciómetro. El eje rotará cuando movamos el mando de la Cessna. Después se tuvo que conseguir fijar el potenciómetro, para que éste no rote también, y que solamente la parte giratoria del mismo lo haga siendo solidaria al eje.

Para conseguir que sea solidaria, simplemente se tiene que usar un elemento intermedio y de unión entre el agujero del eje y el elemento rotatorio. Este elemento que fue una pieza aprovechada de nuestro Joystick, porque encajaba perfectamente con el pivote de nuestro elemento electrónico, se tuvo que pasar

por el torno para que sus medidas fueran exactamente las necesarias para poder introducirlo por el eje rotatorio que queremos aprovechar. Como se puede observar en la (Fig. 5.2) donde en la primera imagen se encuentra el eje del sistema de cadenas y poleas que aprovecharemos y en las otras dos imágenes se ve el elemento pasado por el torno que aprovecharemos y el potenciómetro.



Figura 5.2: Pieza del eje y potenciómetro

Para que el potenciómetro no se mueva, y así obtener sólo la rotación del sistema, se usa una placa de aluminio a medida (Fig. 5.3). La placa tiene un brazo más estrecho y justo a la medida exacta de la anchura del potenciómetro para poderlo sujetar en uno de sus extremos, además como refuerzo, dos tornillos pequeños y una pequeña chapa, sujetan aún con más robustez al potenciómetro al brazo de la placa. Consta también en el otro extremo de una base más amplia para poder aferrarse al mástil. Se hicieron varias pruebas de estas láminas de aluminio, de sujeción, para conseguir aquella que finalmente tuviera las dimensiones requeridas. En este cilindro existe un tornillo para sujetar alguno de los engranajes usados en el sistema de poleas, por ello será necesario que en la placa de aluminio se efectúe un agujero de las mismas medidas, para que esta plancha esté lo más sujeta posible, y que sea un elemento totalmente estático tanto al moverse el mástil adelante y atrás, como al rotar el sistema de poleas y cadenas. Para conseguir un agujero en la ubicación exacta se colocó la placa sin llegar a fijarla y se marcó mediante un punzón en lugar exacto donde estaba ubicado el tornillo en cuestión, luego simplemente se taladró en ese punto.



Figura 5.3: Placa aluminio sujeción potenciómetro

Se tuvo que reforzar esta placa con una pequeña escuadra mediante dos remaches, para que el movimiento no hiciera sufrir demasiado al aluminio. En caso que sucediera esto al ser aluminio podría llegar a romperse con el movimiento constante del mástil y del eje rotatorio.

El resultado final del sistema de alabeo de nuestro simulador, con el potenciómetro anclado a la placa de aluminio, a la vez unido al eje rotatorio, y con la placa a su vez sujeta con una brida al mástil del sistema de la Cessna se puede observar en la Figura 5.4.



Figura 5.4: Montaje final sistema alabeo

Por último para que la sensación al manejar los cuernos fuera más real, el volante tendrá un límite de movimiento tanto a izquierda como a derecha, y así poder saber cuando llegas al tope de giro, y el volante no tenga un giro completo aunque sólo se utilizaran los primeros grados de giro, para conseguir eso se colocó unos topes de aluminio a ambos lados del eje y sujetos con dos bridas a los brazos que salen del mástil mayor del sistema.

5.2 Cabeceo

En el cabeceo se tiene que trasladar el movimiento del mando de control de nuestro simulador, adelante y atrás, al potenciómetro.



Figura 5.5: Ubicación del potenciómetro en el mástil

Se tuvo que estudiar cual era la mejor opción para conseguir trasladar el movimiento de los mandos, rápidamente se vio que el mejor lugar, porque era el único donde se encontraba un punto sobre el que rotara el mástil al mover el volante atrás y adelante, como se puede ver en la Figura 5.5. Viendo que esto sucedía en la base el mástil era el mejor lugar donde se podría aprovechar el movimiento rotatorio del mismo, además de que es interesante que estuviera lo más abajo posible y más centrado, dentro de los pies de la cabina, porque allí es donde estará la placa principal del Joystick, que es donde tienen que llegar los cables.

Para colocar nuestro potenciómetro se tiene que conseguir lo que en el anterior punto, que cuando el mástil rote, éste mueva el elemento rotatorio del potenciómetro, pero no el potenciómetro en sí, para eso se ancló una pequeña placa de aluminio recortada a medida, mediante unos remaches a la base, además se refuerza la sujeción del potenciómetro a la base del sistema usando una pequeña pistola de termo sellado, para que quede mejor fijado.

Así que lo que se hizo fue atravesar el mástil y base de lado a lado, algo complejo por la ubicación de la base y sus medidas como se puede ver en la Figura 5.6, y mediante un tornillo que rotara al unísono acoplar el potenciómetro de manera que éste girara solidario también, sujetado con la pequeña placa anteriormente comentada.



Figura 5.6: Vista frontal y lateral del potenciómetro

Cuando se coloca el potenciómetro se ha de tener muy en cuenta en qué posición se encuentra, el elemento rotatorio con el que se controlan los parámetros del mismo, porque tiene que estar en el punto justo para que el sistema aproveche todo el ángulo de giro necesario para el mando de control

Luego faltaría usar otro cable de los que hemos alargado a medida para llevarlo hasta la placa principal del Joystick. Lo único que nos quedaría sería calibrar el potenciómetro y colocarlo de manera que estuviera centrado en cuanto al recorrido que finalmente hará.

CAPÍTULO 6. GUIÑADA

En el caso del movimiento de guiñada, se tiene que trasladar el movimiento de los pedales al sistema, nuestro simulador no contaba ni con los pedales ni con el sistema de poleas y cadenas, por lo que para empezar se tuvo que construir cuatro pedales.

Primero se estudió cuales podrían ser las medidas más adecuadas para unos pedales de Cessna, entre unas informaciones encontradas y otras, se hizo un molde, del cual sacaríamos 8 láminas de esas medidas de aluminio, se usan dos por pedal porque usar sólo una placa quedaría demasiado liviano y poco resistente.



Figura 6.1. Pedales

Una vez recortadas las ocho láminas se hacen grupos de dos y se hacen unos pequeños agujeros por toda la superficie recortada, para unir primeramente estas placas entre si mediante remaches y después para poder unir las a la estructura que se creará.

Cuando ya se han unido las placas entre sí, es momento de hacer la forma de pedal que se ha decidido. En la parte trasera de los pedales estará la estructura que refuerza los mismos, mediante pequeñas escuadras de aluminio, en cada uno de los extremos de los mismos para asegurar la robustez de los pedales.

Se compraron 4 tubos de 11 cm de largo y 1'5 cm de diámetro que son los que se colocaran en la estructura para los pedales que viene en la Cessna, para unir los pedales contruidos a la Cessna.

Bajo el suelo de la Cessna, bajo la primera plancha que se encuentra, centrados, se colocaran dos poleas que serán las que hagan el trabajo para poder trasladar el movimiento de los pedales instalados al potenciómetro.

Estas dos poleas están unidas mediante un cable de acero, a los dos sistemas

de los pedales, tanto los del piloto como los del copiloto, y así cuando el usuario mueva los pedales mediante el cable se trasladara movimiento a las poleas, en una de ellas, en la izquierda se instalará el potenciómetro, dos pequeños agujeros en la polea sujetarán el pequeño plástico que hará posible insertar el elemento rotatorio, que es el elemento al que se une el potenciómetro, éste ira sujeto mediante una placa de aluminio para que no se mueva solidario a la polea, y sólo rote el pivote que es necesario, como se puede ver en la (Fig. 6.2).



Figura 6.2. Poleas para guiñada

Ahora sólo faltaría tensar los cables de las poleas, y como en el mecanismo que sujeta los pedales faltaba unos muelles para poder compensar los movimientos de un pedal con el otro, instalarlos, de manera que queden perfectamente compensados. Esto se puede observar en la siguiente figura.

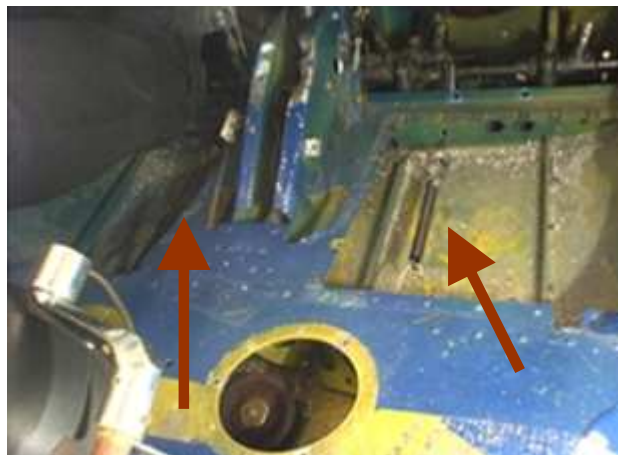


Figura 6.3. Muelles para pedales

Hay que tener en cuenta que al colocar la placa con el potenciómetro, tiene que estar bien centrado tanto para que el movimiento sea fluido como para que el recorrido del movimiento de guiñada sea completo.

Una vez hecho todos estos pasos sólo queda la configuración respectiva del sistema del Joystick. El resultado final de los pedales instalado se muestra en la Figura 6.4.



Figura 6.4. Pedales instalados

CAPÍTULO 7. CONTROL

7.1 Potencia

Para el sistema de potencia se usa el propio mando del Joystick, con lo que el trabajo consiste en dos tareas, cortar a medida la base del Joystick donde se encuentra la palanca de potencia y encontrar una ubicación para situarla.

El primer aspecto se soluciona cortando la base del Joystick, donde se encuentra la pequeña palanca de potencia, para poder después acoplarla al panel de instrumentos de nuestro simulador. Para cortarla se usó una sierra para metal, ya que tenía que ser un corte recto porque se tendría que colocar en el panel de instrumentos de manera que quedara bien pegado y que pareciera un instrumento más del panel y no un objeto externo.



Figura 7.1: Sistema Potencia

En el segundo, el sistema de potencia se tiene que situar centrado, como lo estaría la palanca de gases de una Cessna, para que sea accesible fácilmente y tanto para el piloto como el copiloto. Además, la posición más adecuada para no tapar otros instrumentos del panel y para no sobreponerse encima de la pantalla TFT (porque más tarde se necesitará un agujero y eso con la pantalla detrás sería inviable), se decide que se tiene que situar por encima del **Trim**.

La palanca se sujetará con dos pequeñas escuadras atornilladas al panel de metacrilato y con unos remaches sobre el mismo mando de potencia, para que quede lo más estable y robusta posible: de tal manera que ante un pequeño golpe no se pueda romper o separar del panel de instrumentos.



Figura 7.2: Sistema Potencia instalado

Como en los otros sistemas en el simulador, se tuvieron que alargar los cables que venían en el Joystick porque la placa se encontraba a los pies del simulador, cosa que nos hacía que el cable no llegaría de ninguna manera. En la Figura 7.2, se puede observar la ubicación del sistema de potencia así como el agujero que se tuvo que hacer sobre el panel de instrumentos de metacrilato, para poder pasar los cables que llegarán a la placa de control del sistema del Joystick.

7.2 Otras funciones

En los cuernos se instalará un sistema de botones, donde se podrán realizar diferentes funciones, como freno, cambio de vista, ángulo de vista, y arrancar motor.

Este conjunto de botones, viene de la parte superior de la empuñadura del Joystick original, donde se encuentra la botonera del gatillo, para ello se ha serrado de la forma, más adecuada para que al acoplarla en los cuernos, quedara lo más estético posible y poder ajustarlo de manera que esté bien fijado, estos botones se aprovecharán para de esta manera tener muy a mano diferentes funciones de primer uso. Siendo muy cómodo para el usuario.



Figura 7.3. Botonera en cuernos

CAPÍTULO 8. APERTURA TECHO SIMULADOR

En este punto del trabajo, se quiere que exista la posibilidad de que nuestro simulador pueda tener las dos opciones, la de tener un techo, o la de estar sin él para mayor accesibilidad.

Cuando el simulador se use para dar algún tipo de clase, es realmente útil que esté sin el techo de la cabina, para que los que están fuera de simulador y no sentados en los dos asientos de los que está dotado la aeronave, puedan observar tanto el uso de los mandos de control, ver cualquier instrumento, o cualquier otro detalle que se quiera destacar por parte del instructor o profesorado.



Figura 8.1: Vista de la Cessna con y sin techo

Para realizar el corte se estudio donde era el mejor punto para después poder, volver a colocar el techo cuando sea necesario, y tener una buena sujeción porque en próximos proyectos se tiene intención de darle movimiento a la cabina de la Cessna, es bueno que la opción de cerrar la Cessna siga vigente porque recrea de mejor forma la realidad de un vuelo en avión.

El corte se realizó con una radial en los dos brazos del frontal de la cabina, que se puede ver en la Figura 8.2, en estos brazos y en los que le siguen en la Cessna cuando está montada, se hacen unos agujeros para cuando se necesite volver a posicionarla sobre la aeronave, esté bien anclada a la misma, sin posibilidad de movimientos.

El segundo corte, como también se puede ver en la figura anteriormente comentada, se efectuó de forma recta a la altura de donde debería empezar la puerta de la aeronave en el caso de que esta estuviera puesta y con la misma opción de poder anclarla a la estructura de la Cessna, cuando el techo esté colocado.



Figura 8.2: Techo de la Cessna desmontado

CAPÍTULO 9. ESTRUCTURA PANTALLAS

En el Trabajo de final de carrera de Osvaldo Betancourt se hizo el diseño de las pantallas donde serían proyectadas las imágenes así como su estructura, distancias al proyector. En este trabajo lo que se ha hecho es plasmar todo este diseño en una estructura estable y fija.



Figura 9.1: Estructura pantallas

Se trata de tres paneles unidos entre sí, los dos de los extremos son de 150 cm de ancho por 160 cm de alto, y el panel centra de 150 cm de ancho por 120 de alto. Y con los paneles laterales con un ángulo aproximado de 40° .

Las distancias entre la Cessna y las pantallas será lo más cercanas posibles a la aeronave para que la sensación sea del máximo realismo posible y estemos envueltos en las imágenes.

Los paneles son de poliuretano y están recubiertos por una lamina de fibra de vidrio a modo de pantalla, una estructura unida mediante aluminio y acero, todo esto está anclado a la misma Cessna para que forme parte todo de un conjunto, y si movemos la Cessna las pantallas también se moverán. Como se puede ver en la *Figura 9.1* estas vigas soportan la estructura de las pantallas.

Recordemos que tiene que ser un sistema muy robusto, tanto como para poder mover la Cessna hasta nuevas ubicaciones futuras o para cuando se implemente el proyecto del sistema dinámico del simulador, esta estructura pueda soportar los movimientos.



Figura 9.2: Pantallas del simulador

Para manejar los proyectores se hará uso de un mando a distancia, el que se ha modificado de tal manera que mediante un conector en el ordenador del simulador en los sistemas de encendido del mismo, y haciendo llegar los cables al mando, se podrá poner en funcionamiento el PC, el mismo mando a distancia se le han extraído las baterías y mediante un cable alimentado a través de la placa base ATX recibirá los 3 V necesarios que anteriormente le proporcionaba las pilas.

CAPÍTULO 10. AUDIO SIMULADOR

Para darle mejor sensación de realidad al simulador, es importante contar con un sistema de audio idóneo, para eso se instaló un sistemas de altavoces compuesto por un *Subwoofer* y dos altavoces satélite de los que disponíamos.

Ahora era importante colocarlos de la manera que se consiguiera un buen sonido y que al mismo tiempo los altavoces no entorpecieran la comodidad del usuario del simulador.

El *Subwoofer*, de unas medidas de 170 x 235 x 320 mm se colocó detrás de los asientos, allí donde están ubicados los ordenadores, como se puede ver en la Figura 10.1, el tapiz azul a la izquierda del *Subwoofer* tapa los dos PCs, el *Subwoofer* tiene una potencia de 20 W.



Figura 10.1: *Subwoofer* en simulador

Los dos altavoces satélites de 92 x 92 x 97 mm, se ubicaron a los pies de los pilotos, detrás del panel de instrumentos del simulador, uno a cada lado del mismo teniendo en cuenta que no molestaran el movimiento de los pedales, y que no causaran molestias a los usuarios del mismo. Es importante tener una buena ergonomía, tanto para la comodidad como para la facilidad de uso, cada altavoz tiene una potencia de 8 W.

Teniendo en cuenta todas las potencias se han conseguido 36 W de potencia, pero hay que puntualizar que este *Subwoofer* está preparado para hasta 5 altavoces satélites, lo que permitirá si se considerara oportuno llegar a una potencia de 60 W totales.

Los dos altavoces satélites están anclados mediante un soporte propio, a la estructura de la Cessna, el *Subwoofer* está anclado al suelo de la Cessna con tres soportes para que cuando más adelante nuestro simulador sea dinámico éste no se mueva y esté bien sujeto.

CAPÍTULO 11. SOPORTE JOYSTICK

En el simulador además de conseguir poder manejarlo con los mandos de la Cessna en el software que se utilice, tanto sea *FlightGear* como *Microsoft Flight Simulator*, se quiere poder usar un Joystick y así tener la oportunidad de elegir como maniobrar, además que para pilotar helicópteros usar un Joystick es lo más apropiado.

Para ubicarlo se escogió entre los dos asientos que es la zona más ergonómica y funcional para el simulador, para eso se diseñó una pequeña placa de aluminio que moldeada a medida del Joystick **Microsoft SideWinder** y se unió a la base de los asientos de la aeronave mediante unos remaches que fija de manera segura el soporte para el Joystick.



Figura 11.1: Soporte Joystick

Hay que tener en cuenta que mientras manejemos uno de los sistemas en este caso ya sea el Joystick fijado o los mandos de control instalados “cuernos y pedales”, el otro queda inhabilitado, si en cualquier momento tocamos el otro sistema, éste será el que funcione y el otro quedará bloqueado, con lo que no podemos manejar en el mismo instante ambos controles aunque si se puede ir variando de uno a otro en cualquier momento si eso nos fuera necesario.

Se han realizado algunos ensayos a tal efecto para determinar que pasaría si manejamos el avión con ambos controles. El resultado es que se puede manejar un subsistema en uno y manejar otros subsistemas en el otro a la vez sin que se interfieran. Por poner un ejemplo, podemos llevar el alabeo y cabeceo con los cuernos tradicionales y la dirección con el Joystick situado entre los dos pilotos,

CAPÍTULO 12. RESULTADOS

Es importante realizar un resumen de las prestaciones que nos dará el sistema, así como posibles pequeños problemas que se hayan detectado, posibles mejoras del sistema ya instalado, en un futuro, cómo funciona el sistema y algunos otros aspectos.

En el simulador tenemos los 3 movimientos básicos del sistema del avión, alabeo, cabeceo y guiñada, así como el control de potencia, y otros botones para diferentes funciones.

Hay que resaltar que en los sistemas que se utiliza potenciómetros que son para alabeo, cabeceo, guiñada, y potencia, al ser un sistema electrónico tan sensible se producen pequeños cambios de la señal aunque esta esté teóricamente en ese instante en una posición estática. Esto se puede deber a cierto ruido inducido en los cables, así como que la placa principal del Joystick utilizada, los mismos potenciómetros están preparados para una longitud de los cables concreta y en este trabajo se ha tenido que rediseñar todo el cableado para poder adaptarse a las necesidades del simulador.

También se ha de comentar que en el movimiento de cabeceo el sistema no hace todo el recorrido, al levantar el morro del avión en la simulación hay un pequeño margen que no lo cubre, porque el recorrido del eje del sistema ya existente en la Cessna, no ofrecía más movimiento.

En el caso de los pedales, cabe decir que el movimiento es de una alta sensibilidad ya que como se ha comentado anteriormente, todo el sistema se ha tenido que adaptar a los potenciómetros obtenidos del Joystick. En este caso el recorrido y margen de movimiento ya viene fijado.

Para un futuro se recomienda mejorar el cableado, apantallar todos los cables que forman el sistema derivando la malla con una buena toma de tierra. Para el cabeceo hay que cambiar el rango del potenciómetro o bien realizar un circuito de adaptación.

CAPÍTULO 13. CONCLUSIONES

13.1 Objetivos Alcanzados

Primer punto. El primer objetivo para poder iniciar el proyecto, trataba de conocer bien las labores realizadas anteriormente, tanto leyendo proyectos hechos previamente al mío, como preguntar en primera persona todo aquello que era interesante conocer.

Segundo punto. En este segundo objetivo de documentar, fue más una labor constante durante todo el trabajo, de ir organizando toda la información conseguida, y la que se iba encontrando y trabajando. Tanto para tener una buena organización de la labor hecha como así tener todo documentado. Así todo resulta algo más sencillo.

Tercer punto. En este tercer objetivo, estudio del Joystick, la idea era muy clara, y pese a unas primeras dudas de que Joystick se podría utilizar, se llegó a la conclusión por precio y prestaciones que el **Logitech Force 3D Pro** era lo que se necesitaba. Una vez obtenido, venía la tarea más compleja, el estudio del mismo, desmontarlo, recopilar todos los elementos necesarios y entender el funcionamiento del mismo para poder después aplicar el uso que se necesitaba en nuestro simulador. Se puede decir que fue una buena elección de Joystick, pese al inicio tener algún problema con algunos de los potenciómetros del mismo.

Cuarto punto. El cuarto objetivo, sistema de alabeo, fue una tarea realmente compleja, porque había que unir diferentes aspectos, el electrónico por parte de los potenciómetros, con la parte más mecánica de los sistemas de poleas y cadenas del simulador para conseguir trasladar el movimiento, tanto de alabeo como de cabeceo y la parte más manual creando moldes y placas para llegar a nuestro objetivo. Pero tanto en el caso de un movimiento como del otro, el resultado ha sido más que satisfactorio. La sensación de manejar el simulador con el volante y no con el Joystick añade un grado de realidad importante que ha sido testada por pilotos reales y por usuarios normales como son los alumnos de escuela secundaria que visitan el simulador de vuelo.

Quinto punto. El objetivo de sistema de guiñada y freno seguramente fue el más complejo de todos, porque no se disponía de pedales. Casi se tenía que empezar el sistema de guiñada y freno desde cero, pero tanto la construcción de los pedales como del sistema de poleas en sí, dio un resultado muy positivo.

Sexto punto. Este sistema de control y potencia, aunque quizá no resultará el más complejo, se puede decir que ha sido uno de los que más satisfacción producen, además de obtener un funcionamiento más que correcto.

Hubo que pensar una solución innovadora respecto al control de vista que fue añadir el pequeño panel de mando en los propios cuernos sin que los cables se engancharan con el movimiento de la cadena de mando.

Séptimo punto. La apertura de techo fue una labor que supuso un gran resultado, por darle al simulador la opción de poder trabajar más ampliamente en algunos momentos y de forma más recogida y realística en otras situaciones.

Octavo punto. El objetivo de pantallas laterales que no disponía respecto del anterior TFC fue una de las tareas donde tenía que seguir unos diseños ya realizados y plasmarlos. Este objetivo era importante para tener una buena proyección del campo de visión, y también darle más utilidad al mando pudiéndolo usar de botón de encendido del PC del simulador. En este aspecto hubo un pequeño problema al ser un trabajo tan delicado que se estropeó el mando y se tuvo que poner uno de reserva.

Noveno punto. El objetivo de ambientación de sonido, suponía más labores de instalación de hardware y cierta configuración, porque ya se contaban con los altavoces, y encontrar la ubicación adecuada no fue complejo, así como su instalación.

13.2 Conclusiones generales

La idea principal y prioritaria, era la de dotar al simulador de vuelo de la escuela de unos controles lo más parecidos a la realidad, aprovechando que se disponía de toda la estructura de la Cessna así como el volante y los sistemas de poleas, para que se pueda usar por los estudiantes futuros de la facultad.

Con este trabajo final de carrera se ha conseguido profundizar en el uso y conocimiento del simulador, de cada uno de sus apartados, de sus problemas, de sus ventajas, para finalmente comprender de manera amplia aspectos como los controles de las aeronaves y simuladores, ya que además de implantar los nuevos mandos simulados se ha podido estudiar de primera mano como son los controles reales de una aeronave, en este caso de la Cessna.

13.3 Posibles ampliaciones futuras

Cubierta en la estructura de pantallas, consiste en incorporar una cubierta sobre las pantallas y proyectores, de esta manera conseguir que cuando la sala del simulador esté muy iluminado, la luz no enmascare las imágenes proyectadas sobre las pantallas.

Incorporar Feedback, para dar mucha más sensación de control y realidad, los controles tendrían *feedback*, así que el sistema dotaría a los mandos de vuelo de la sensación que produciría el vuelo en el aire, diferentes aspectos como aire, gravedad y otros conceptos.

A tal efecto hay actualmente otro TFC en marcha que ha supuesto colocar toda la cabina encima de un soporte con actuadores que la muevan.

SimKits FlightGear, obtener unos drivers adecuados para que el sistema del panel de control, dirigido por los dispositivos de **SimKits** no sólo funcionen en *Microsoft Flight Simulator*, y que funcionen correctamente también en *FlightGear*, que al ser de código libre, nos ofrece ventajas que el otro software no nos proporciona.

Trim Wheel, Disponer de un generador de pulsos de subida o de bajada al girar la rueda de *trimado* de elevador de profundidad donde serían reutilizados algunos botones del Joystick.

CAPÍTULO 14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Medios de Transporte* (EL PAÍS-ALTEA 1994)
- [2] Librairie Larousse, *Gran Larousse Català*. (Edicions 62. 1990.)
- [3] <http://www.logitech.com>
[Consulta: enero 2009]
- [4] <http://www.flightsim.com>
[Consulta: febrero 2009]
- [5] <http://www.micabinadevuelo.com>
[Consulta: febrero 2009]
- [6] <http://es.rs-online.com/web/>
[Consulta: marzo 2009]
- [7] <http://www.simprojects.nl>
[Consulta: marzo 2009]
- [8] <http://www.opencockpits.com>
[Consulta: febrero 2009]
- [9] <http://www.mikesflightdeck.com/>
[Consulta: febrero 2009]
- [10] <http://www.aileszelles.be/modules/smartsection/category.php?categoryid=1>
[Consulta: febrero 2009]
- [11] http://www.molex.com/molex/index_login.jsp
[Consulta: febrero 2009]
- [12] <http://www.littleflyers.com/oldparts/parts3.html>
[Consulta: febrero 2009]
- [13] <http://www.wikipedia.org>
[Consulta: febrero 2009]



**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANEXOS

**TÍTULO DEL TFC: Implementación de sistema de mando del simulador
CESSNA**

**TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Aeronáutica Especialidad
Aeronavegación**

AUTOR: Sergio Ros Salvador

DIRECTOR: Joshua Martínez Tristancho

CO-DIRECTOR: Oscar Casas Piedrafita

FECHA: 8 de junio de 2009

CAPÍTULO 15. ANEXOS

Anexo 1

Esquema técnico Joystick Logitech Force 3D Pro

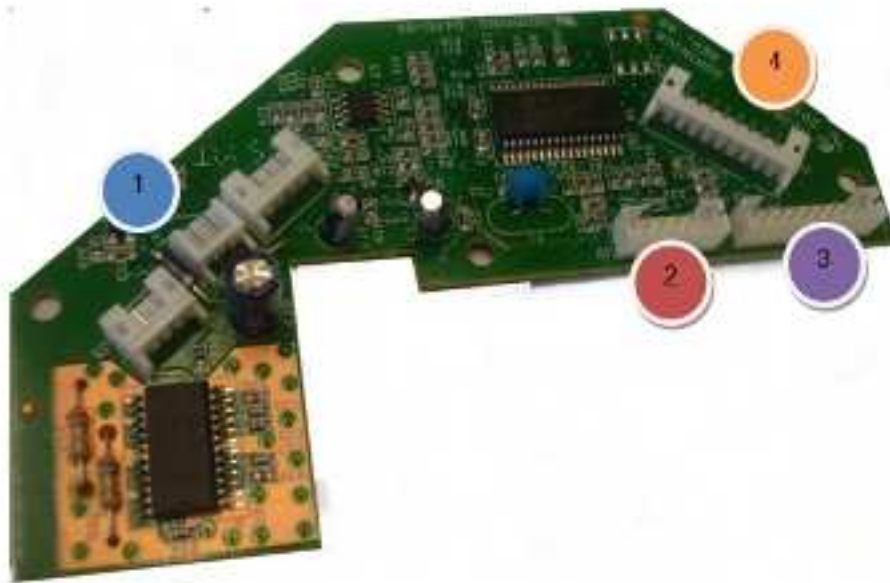


Figura A1: Placa principal Joystick

Es importante tener un esquema técnico del sistema electrónico utilizado para los controles del simulador para así poder tener una referencia clara de cómo irán todas las conexiones por si en cualquier momento se necesita hacer algún cambio.

Ésta es la placa principal que se usará para la conexión de todos los potenciómetros y la que se conectara mediante USB al simulador, es la extraída del **Joystick Force 3D Pro**.

Mostraremos en 4 partes todos los conectores que se usarán para hacer las diferentes conexiones requeridas.

En el grupo número 1, que consta de 3 conectores, sólo es necesario para el proyecto el conector primero comenzando por la izquierda que se puede apreciar en la Figura A2, que es el conector para el USB.



Figura A2: Conector 1



Figura A3: Conector 2

Este conector es el que pertenece al potenciómetro número 2, que es el de la Potencia, además sirve para la botonera de la principal del Joystick pero que en este caso no se utilizará. Quizá en algún proyecto siguiente se podría utilizar y así ampliar los usos del sistema del mando integrado.



Figura A4: Conector 3

Éste es el conector que pertenece a los potenciómetros 3 y 4, que son los que se encargan de recoger los movimientos de alabeo y cabeceo.



Figura A5: Conector 4

Éste es el conector perteneciente tanto al potenciómetro numero 1 el encargado del movimiento de guiñada, como el de controlar la botonera de la parte del gatillo del Joystick.

En las siguientes imágenes mostraremos todos los potenciómetros utilizados, para tanto poder diferenciar todos los potenciómetros gracias al código de colores de los cables como así su ubicación original en el Joystick.



Figura A6: Potenciómetro n°1, Guiñada

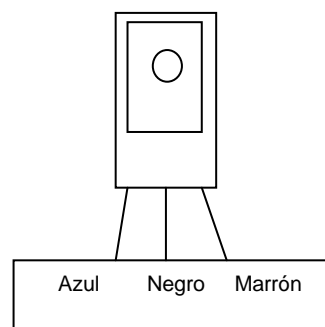
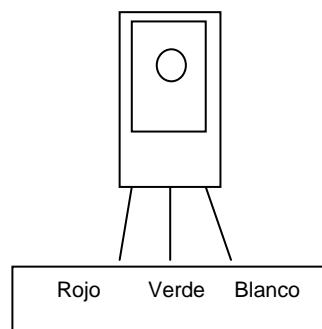


Figura A7: Potenciómetro n°2, Potencia



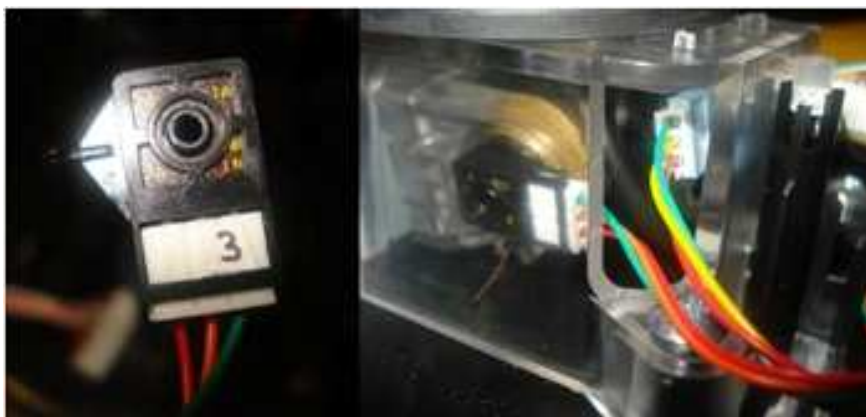


Figura A8: Potenciómetro nº 3, Cabeceo

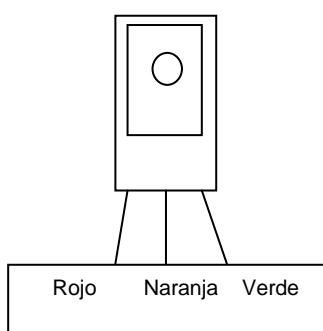
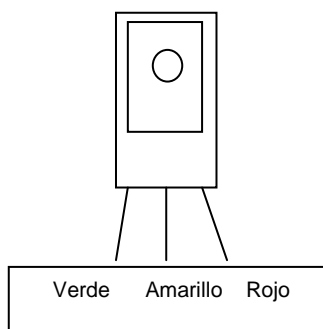


Figura A9: Potenciómetro nº 4, Alabeo



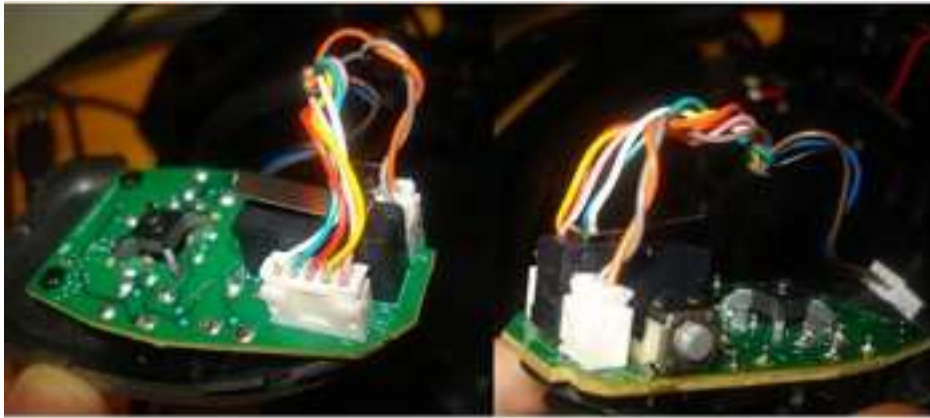


Figura A10: Botonera Gatillo

En esta última figura se observa las conexiones que llegan a la botonera para poder aprovechar los diferentes botones, incluido el del gatillo que es el Freno.

Anexo 2

Calibrar Joystick

Una vez instalado todos los sistemas es importante calibrar perfectamente el Joystick, para eso se utilizará el software de calibración que viene en Windows que en este caso, es el sistema operativo que se utilizará, para ello tendremos que ir a el apartado del sistema *Panel de control* → *Dispositivos de juego*, y en este punto seleccionar nuestro Joystick, que será el **Logitech Force 3D Pro**, le daríamos a propiedades del mismo, y accederíamos a una ventana, en ésta tendríamos que ir a la pestaña Configuración y clicar en el botón de Calibrar.

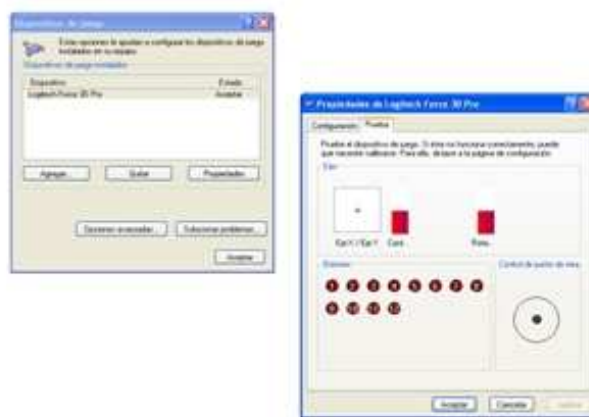


Figura A11: Calibración Joystick

Una vez hecho esto, tendríamos que seguir los pasos que nos indican en cada etapa de la calibración, consiste básicamente en ir actuando sobre cada movimiento que tiene el Joystick en el instante que te vaya indicando y darle al botón siguiente, todo esto hasta llegar a la ultima etapa, con estos pasos tendríamos el Joystick calibrado.

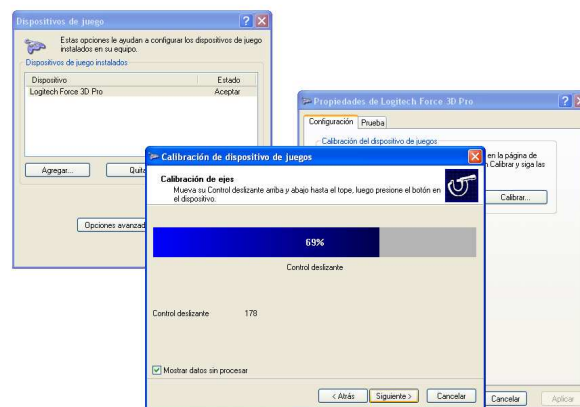


Figura A12: Calibración Joystick

Anexo 3

Configuración control en FlightGear

Para poder utilizar los controles el simulador *FlightGear* hay que configurar los archivos del sistema de control del software, el programa tiene configuraciones propias para diferentes Joysticks, pero al no tener la propia del **Logitech Force 3D Pro**, usa una por defecto y esta no es la más apropiada para nuestro dispositivo, por eso se han hecho algunos cambios en la línea de comandos del archivo utilizado.

Hay que modificar un archivo llamado *Default.xml*, dentro de la carpeta *Input* → *Control* → *Joysticks* → *Default*, que es el que controla la configuración del Joystick instalado.

Para eso habrá que cambiar unas líneas de programación de ese archivo. La configuración se efectúa primero eligiendo el botón o axis al que le quieres dar un uso concreto, y seguidamente indicar este uso y que formato tiene, y dependiendo que tipo de botón sea se tiene que marcar cual es el grado en que cambia, como por ejemplo en el **Trim**, donde cada pulsación sube un punto.

La línea de códigos sería la que se muestra a continuación.

```
<PropertyList>
  <name>default</name>
  <axis n="0">
    <desc>Aileron</desc>
    <binding>
      <command>property-scale</command>
      <property>/controls/flight/aileron</property>
      <squared type="bool">true</squared>
    </binding>
  </axis>
  <axis n="1">
    <desc>Elevator</desc>
    <binding>
      <command>property-scale</command>
      <property>/controls/flight/elevator</property>
      <factor type="double">-1.0</factor>
      <squared type="bool">true</squared>
    </binding>
  </axis>
  <axis n="2">
    <desc>Throttle</desc>
    <binding>
      <command>nasal</command>
      <script>controls.throttleAxis()</script>
    </binding>
  </axis>
  <axis n="3">
    <desc>Rudder</desc>
    <binding>
      <command>property-scale</command>
      <property>/controls/flight/rudder</property>
      <factor type="double">-1.0</factor>
      <squared type="bool">true</squared>
    </binding>
  </axis>
  <button n="0">
    <desc>Brakes</desc>
    <binding>
      <command>nasal</command>
      <script>controls.applyBrakes(1)</script>
    </binding>
```

```

- <mod-up>
- <binding>
  <command>nasal</command>
  <script>controls.applyBrakes(0)</script>
</binding>
</mod-up>
</button>
- <button n="2">
  <name>s</name>
  <desc>Fire Starter on Selected Engine(s)</desc>
- <binding>
  <command>nasal</command>
  <script>controls.startEngine()</script>
</binding>
- <mod-up>
- <binding>
  <command>nasal</command>
  <script>props.setAll("/controls/engines/engine", "starter", 0)</script>
</binding>
</mod-up>
</button>
- <button n="4">
  <desc>Elevator trim up</desc>
  <repeatable type="bool">true</repeatable>
-
- <binding>
  <command>property-adjust</command>
  <property>/controls/flight/elevator-trim</property>
  <step type="double">0.001</step>
</binding>
</button>
-
- <button n="5">
  <desc>Elevator trim down</desc>
  <repeatable type="bool">true</repeatable>
-
- <binding>
  <command>property-adjust</command>
  <property>/controls/flight/elevator-trim</property>
  <step type="double">-0.001</step>
</binding>
</button>
- <button n="3">
  <desc>Cycle view</desc>
  <repeatable>false</repeatable>
- <binding>
  <command>nasal</command>
  <script>view.stepview(1)</script>
</binding>
</button>
<axis>
  <desc>View Direction</desc>
  <number>
    <unix>4</unix>
    <mac>4</mac>
    <windows>6</windows>
  </number>
  <low>
    <repeatable>true</repeatable>
  <binding>
    <command>property-adjust</command>
    <property>/sim/current-view/goal-heading-offset-deg</property>
    <step type="double">1.0</step>
  </binding>
</low>
- <high>
  <repeatable>true</repeatable>
- <binding>
  <command>property-adjust</command>
  <property>/sim/current-view/goal-heading-offset-deg</property>
  <step type="double">-1.0</step>
</binding>
</high>
</axis>
- <axis>
  <desc>View Elevation (Default)</desc>
  <number>
    <unix>5</unix>
    <mac>5</mac>
    <windows>5</windows>
  </number>
  <low>
    <repeatable>true</repeatable>
  <binding>
    <command>property-adjust</command>
    <property>/sim/current-view/goal-pitch-offset-deg</property>
    <step type="double">1.0</step>
  </binding>

```

```
</low>
- <high>
  <repeatable>true</repeatable>
- <binding>
  <command>property-adjust</command>
  <property>/sim/current-view/goal-pitch-offset-deg</property>
  <step type="double">-1.0</step>
</binding>
</high>
</axis>
<axis>
  <desc>View Elevation (Windows)</desc>
<number>
  <windows>7</windows>
</number>
- <low>
  <repeatable>true</repeatable>
- <binding>
  <command>property-adjust</command>
  <property>/sim/current-view/goal-pitch-offset-deg</property>
  <step type="double">-1.0</step>
</binding>
</low>
- <high>
  <repeatable>true</repeatable>
- <binding>
  <command>property-adjust</command>
  <property>/sim/current-view/goal-pitch-offset-deg</property>
  <step type="double">1.0</step>
</binding>
</high>
</axis>
</PropertyList>
```

Una vez modificado, el archivo simplemente se ha de guardar, y en el próximo inicio de *FlightGear*, el sistema ya utilizará la nueva configuración.

Anexo 4

Conexiones en el simulador

En el siguiente esquema (*Fig. A13*) se puede apreciar un diagrama global de los módulos añadidos y de los mazos de cables que los unen. Posteriormente hablaremos de cada uno de los módulos en detalle. Las conexiones de audio no han sido incluidas en este esquema.

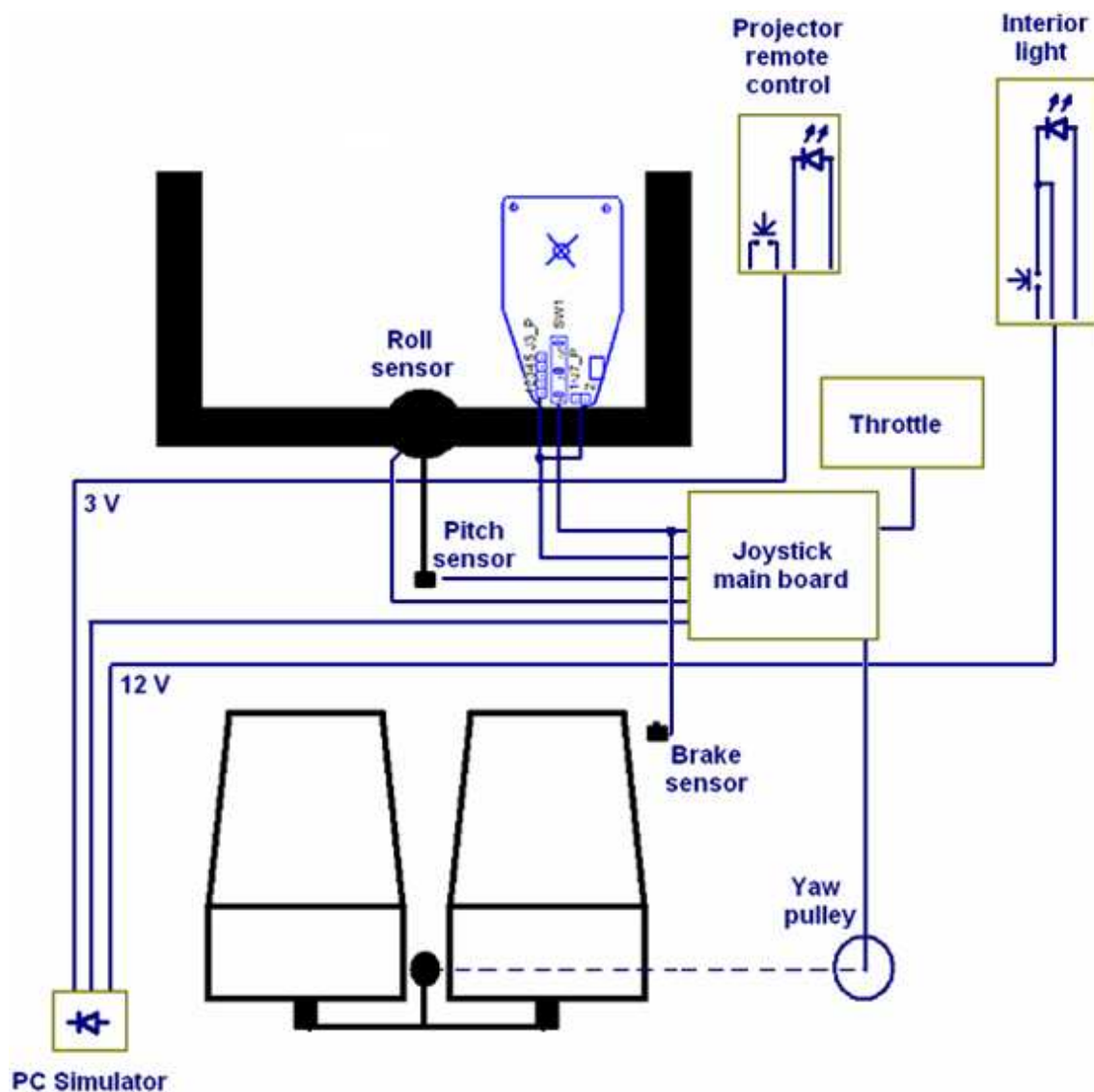


Figura A13. Esquema global de conexiones

Conexión Audio.

Las conexiones en el sistema de audio (*Fig. A14*), al disponer por ahora sólo de dos satélites y el Subwoofer, es bastante sencilla. Los cables rojo y blanco, que salen de la tarjeta de sonido del PC del simulador se conectarán al Subwoofer mediante un ladrón de dos entradas una salida de tipo *Jack*, en la conexión *INPUT L, R*.



Figura A14. Conexión audio

Después los satélites irán conectados al *Subwoofer* mediante otros dos cables de color gris y negro, uno al *OUTPUT L*, y el otro al *OUTPUT R*, que son los altavoces frontales.

Conexiones iluminación interna.

Para encender la luz interior y hacer llegar los 12V para alimentar el aplique amarillo, se usarán (*Fig. A15*) cables de color Amarillo y Negro, que serán los de la alimentación y que irán conectados al cable de la placa **SimKits** que es alimentado por el PC del simulador.

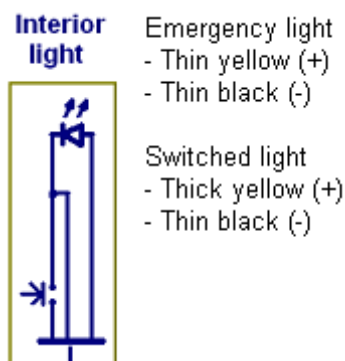


Figura A15. Conexión luz interior

Conexiones mando proyectores.

Para encender el simulador y hacer llegar los 3V para alimentar el mando de los proyectores, se usarán cables de colores Rojo y Negro, que serán los de la alimentación, y otros dos verde y amarillo que serán los que se encargarán del encendido del PC del simulador.



Figura A16. Conexión mando proyectores

Se usará el botón trasero (*Fig. A16*) del mando a distancia del proyector, soldando estos dos cables (Amarillo y Verde) al sistema del botón y los otros dos (Rojo y Azul) al sistema antes alimentado por pilas. Se ha quitado uno de los contactos de las pilas para evitar que exploten las pilas si se ponen por error.

Se harán llegar estos dos cables hasta la torre del PC, y mediante un conector de 4 entradas se conectarán los cables, encendido y alimentación.

Conexiones botones en cuernos.

Para poder usar la parte del Joystick donde están los botones de seleccionar vista, que está colocado en los cuernos del simulador, y al mismo tiempo poder usar el freno que se usa mediante el gatillo situado en la misma empuñadura.

Habrà que pasar los cables desde los cuernos hasta el cable que sale de la placa principal del Joystick, se usarán dos mazos de cables, para poder llevar todos los conectores que necesitamos, para ello se soldarán los cables en la misma placa del gatillo.

La Figura A17, corresponde a la vista posterior de la placa del gatillo. El pulsador SW1 es el sistema de freno que se lleva hasta la zona de pedales.

Para ello habrá que soldar con el cable que se conecta a la placa principal del Joystick, los siguientes cables en el orden establecido.

J7_P1 Antes Naranja	→ Ahora NEGRO_FRENO
J7_P2 Antes Marrón	→ Ahora ROJO_FRENO
J3_P1 Antes Rosa	→ Ahora AZUL_VISTA
J3_P2 Antes Amarillo	→ Ahora AMARILLO_VISTA
J3_P3 Antes Rojo	→ Ahora ROJO_VISTA
J3_P4 Antes Verde	→ Ahora VERDE_VISTA
J3_P5 Antes Blanco	→ Ahora BLANCO_VISTA
SW1_1 Antes Placa_1	→ Ahora BLANCO_FRENO
SW1_2 Antes Placa_2	→ Ahora VERDE_FRENO
SW1_3 Antes Placa_3	→ Ahora NO CONECTADO

Hay dos mazos de cables, el mazo de cables del freno y el mazo de cables de control de vista. Por poner un pequeño ejemplo, el cable que antes era de color Naranja del conector del Joystick, ahora se conectará al cable de color negro del mazo de cables del freno.

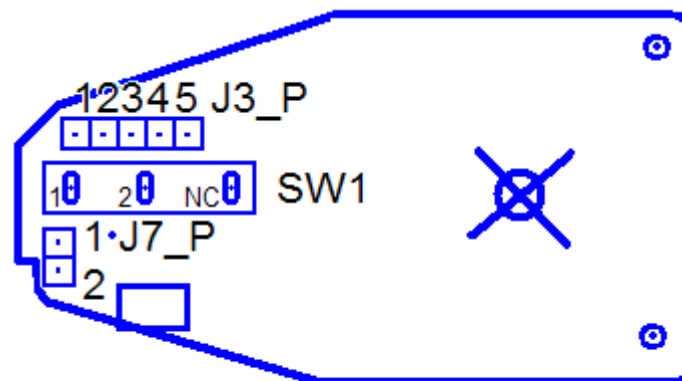


Figura A17. Placa botones Joystick

Por ultimo falta dejar constancia que del conector que va a la placa del Joystick, saldrán cuatro cables que son los correspondientes para poder poner un freno de pies, el código de colores de los cables seria como se muestra a continuación donde ahora está operativo sólo el Rojo y Verde.

Placa principal (Blanco)	→ Cable freno (Rojo)
Placa principal (Verde)	→ Cable freno (Verde)
Placa principal (Amarillo)	→ Cable freno (Amarillo)
Placa principal (Azul)	→ Cable freno (Azul)

Anexo 5

Nociones básicas de EMI

EMI significa la Interferencia Electromagnética, y es una perturbación externa no deseada que afectará cualquier circuito, hasta el punto de interrumpir las señales del circuito. Típicamente estas interferencias son creadas por objetos externos o efectos, naturales o artificiales, llevando corrientes eléctricas que cambian rápidamente.

El Sistema de control ha sido diseñado de una manera que su trazado de circuito le quita casi todo el ruido posible, protegiéndolo a los sensores.

Reducción de interferencia conductora

Interferencias conductoras sobre todo son causadas porque la fuente de interferencia y el sistema 'de víctima' comparten una especie de conexión. En la mayoría de los casos esto puede ser encontrado sobre la fuente, tierra y las conexiones de masas.

La interferencia más típica es causada por lazos de tierra. Estos aparecen por la diferencia de voltaje entre dos puntos de conexión de tierra que están lejos el uno del otro y tienen el mismo sistema. En nuestro caso la Palanca de mando la placa principal, lazos de tierra posibles es evitado, por teniendo una conexión de tierra única en el la placa principal.

Reducción de interferencia capacitiva e inductiva

La mejor forma para cancelar interferencias capacitivas usa cables protegidos, conexiones y recintos. Sin embargo, los conectores son difíciles de proteger.

El alambrado externo a sensores o entre módulos es hecho usando cables protegidos de alta calidad. Esto evita lazos corrientes sobre los cables, que probablemente conducirían a corrientes de interferencia sobre ello y la distorsión de señal.

Anexo 6

Manual de uso

En este apartado sólo se quiere dar un pequeño repaso de cómo será el uso de los mandos a modo de manual de usuario, aunque en otros apartados anteriores se ha explicado de una forma más global, este punto será más específico para con nuestro simulador.

Para empezar, la manera de poner en funcionamiento los proyectores sería mediante el botón rojo del mando a distancia. Para seleccionar el proyector basta con apuntar a la pantalla que deseamos encender o apagar como se puede observar en la fotografía izquierda de la Figura A18. De la fotografía de la derecha se observa el botón del mismo mando a distancia en la parte trasera que sirve para encender el PC del simulador.



Figura A18: Funciones mando a distancia

El Co-simulador se enciende y se apaga en el propio PC detrás del asiento del piloto y puede ser seleccionado con el botón de control que hay cerca del pie izquierdo del piloto. Cuando seleccionamos el Co-simulador, la pantalla número cuatro, esto es, la que hay en el interior del panel de mandos y que es una pantalla TFT, nos permite ver el estado del motor de simulación llamado **Marea**. El teclado y el ratón principal controlarán ahora el Co-simulador. La toma de sonido *Jack* está conectada ahora a la tarjeta de sonido del Co-simulador. El Co-simulador es el PC que se encarga de inyectar aviones dentro del simulador principal a través de una red. Estos aviones tienen su propio comportamiento,

Sistema está configurado para *FlightGear*. Esta sería la pantalla que veríamos en el momento de comenzar a pilotar el simulador.



Figura A19: Pantalla *FlightGear*

Para arrancar el *FlightGear* basta con hacer doble clic en el icono que está en el escritorio o en el menú de inicio rápido de la barra de inicio.

Después se encuentran los movimientos que haremos mediante los cuernos, como son alabeo (Fig. A20) y cabeceo (Fig. A21).



Figura A20: Movimiento alabeo



Figura A21: Movimiento cabeceo

La otra función en los cuernos es la de la botonera del gatillo, donde nos encontramos el freno, el cambio de vista (*Fig. A22*) y arranque de motor, principalmente.

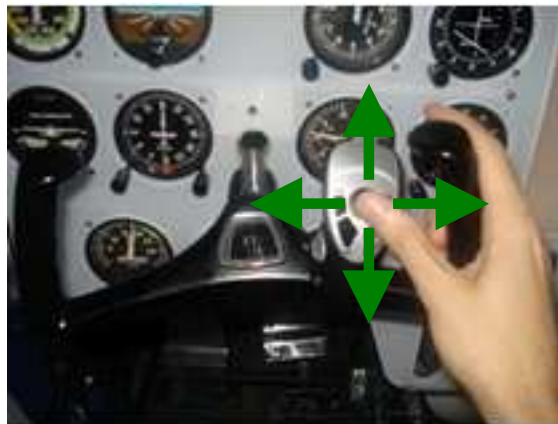


Figura A22: Botonera gatillo en cuernos

Ya fuera de los cuernos otro aspecto importante es el de la potencia, en el que se puede actuar como se puede ver en la figura siguiente.



Figura A23: Uso del sistema de potencia

Por último el sistema de pedales (*Fig. A24*) y su actuación tanto en el pedal izquierdo como en el derecho.



Figura A24: Uso de los pedales

Para el encendido del sistema de audio (Fig. A25), simplemente se tiene que accionar el botón situado en el *Subwoofer*, así como para ajustar el volumen y los graves.



Figura A25: Encendido del *Subwoofer*

En cuanto a la iluminación de la zona del teclado, lo único que hay que hacer es pulsar el botón *Light*, como se puede observar en la Figura A26. El PC del simulador debe estar alimentado para que esta luz funcione. Existe una opción para que siempre que los instrumentos **SimKits** estén activos, esta luz esté encendida pero actualmente está desactivada.



Figura A26: Luz para el teclado del simulador